MODELAGEM E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA PARA O MUNICÍPIO DE ARAXÁ - MG

Roberto ROSA[1]

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia para espacialização de dados de temperatura utilizando um modelo digital de elevação e dados de temperatura obtidos em estações meteorológicas, para o município de Araxá, estado de Minas Gerais – Brasil. Para a realização do trabalho, foram utilizadas Folhas Topográficas, na escala 1:100.000, editadas pelo IBGE, mapa do Estado de Minas Gerais na escala 1:500.000, planilha Excel com dados de temperatura de estações meteorológicas que circundam o município de Araxá, microcomputador, mesa digitalizadora, GPS, e os softwares Cartalinx e Idrisi. A elaboração da base cartográfica georreferenciada do município foi realizada a partir da delimitação do limite do município. Antes de iniciar o processo de digitalização, definiu-se a escala de apresentação dos mapas temáticos, o sistema de projeção cartográfica e o sistema de coordenadas a ser adotado. O modelo digital de elevação (MDE), as análises de correlação e regressão dos dados de temperatura, bem como a reclassificação dos dados, para a produção dos mapas temáticos com a distribuição da temperatura, foram realizadas utilizando-se o software Idrisi. Neste trabalho procuramos avaliar a variação da temperatura do ar em função da variação da altitude do município. Araxá, caracteriza-se por estar assentado sobre relevo com significativas variações de altitude (820 a 1.360 m). Para a realização dessas análises (altitude x temperatura), foram calculadas as médias das temperaturas por estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) e correlacionadas com a altitude de cada estação meteorológica. A partir da análise de correlação e coeficiente de determinação, foi encontrada a equação da reta que melhor representa a relação entre a altitude (variável independente) e a temperatura (variável dependente). A equação encontrada aplicada sobre o modelo digital de elevação do município (MDE), permitiu a elaboração dos mapas com a distribuição da temperatura segundo as estações do ano. Como resultado, foram elaborados um mapa com a distribuição das altitudes no município (hipsométrico), e cinco mapas com a distribuição da temperatura, um para cada estação (verão, outono, inverno e primavera) e um com a média anual das temperaturas.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma metodologia para espacialização de dados de temperatura utilizando um modelo digital de elevação e dados de temperatura obtidos em estações meteorológicas, para o município de Araxá, estado de Minas Gerais – Brasil.

O município de Araxá localiza-se na Zona Fisiográfica do Ato Paranaíba, na porção oeste do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas de 19º 24’ e 19º 54’ de latitude Sul e 46º 42’ e 47º 15' de longitude Oeste de Greenwich, com uma superfície de 1.283 Km², distando 323 km da capital (Belo Horizonte).

O município está assentado sobre rochas do Grupo Araxá, Formação Bauru e Embasamento graníto-gnáissico indiviso. Os solos predominantes são do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. A precipitação total anual é de 1.534 mm, com estação seca de abril a setembro e chuvosa de outubro a março. A temperatura média é de 20,8 ^{o}C,

[1] Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: rrosa@ufu.br

sendo que o mês mais frio (julho) possui média de 17,8 ^{o}C e o mês mais quente (fevereiro) possui média de 22,5 ^{o}C.

A economia do município está baseada principalmente na exploração mineral, especialmente o nióbio (CBMM) e Fosfatos (Bunge e Fósfértil) bem como na exploração agropecuária (gado leiteiro, café e batata). O município destaca-se também como uma importante estância hidromineral, com fontes de águas radioativas e sulforosas, as quais são exploradas por atividades turísticas.

MATERIAIS

a) Documentos Cartográficos

Folhas Topográficas escala 1:100.000 editadas pelo IBGE (Folhas Araxá, Ibiá, Perdizes e Sacramento);

Mapa do Estado de Minas Gerais escala 1:500.000.

b) Equipamentos

Microcomputador Pentium 4, 2.0 Ghz, 256 Mb de memória RAM, Hd 40 Gb, monitor SVGA 17", CD-RW, mouse e teclado;

Mesa Digitalizadoras Digigraf, modelo Van Gogh, A1;

Impressora Jato de Tinta, HP 1220 Cx;

GPS Garmin, modelo 12 XL.

c) Softwares

Cartalinx – é um software destinado a construção de bases de dados espaciais, desenvolvido pela Graduete School of Geography da Clark University, Este software é composto por cinco componentes principais (menu principal, barra de ferramentas, janela de tabelas, janela de visualização e barra de status), que auxiliam na estruturação e criação de bases cartográficas. Suporta a entrada de dados via mouse, mesa digitalizadora e GPS. Os arquivos gerados pelo Cartalinx possuem dois tipos de extensão: LNX para arquivo de desenho e MDB para a tabela de atribuitos, os quais são posteriormente exportados para outros GIS softwares. Roda em ambiente Windows (95, 98, XP, NT e 2000).

Idrisi – é um sistema de informação geográfica e de processamento de imagens, desenvolvido pela Graduete School of Geography da Clark University, Massashusetts, baseado no formato raster de representação de dados, foi desenvolvido para microcomputadores. Roda em ambiente Windows (95, 98, XP, NT e 2000). Este software reúne ferramentas nas áreas de sensoriamento remoto, processamento de imagens, sistema de informação geográfica, modelagem espacial, geoestatística e apoio a tomada de decisões. O usuário pode desenvolver programas específicos de forma a atender a novas aplicações. Utiliza banco de dados externo com interface para o Dbase e Access. Permite a migração de dados para outros softwares.

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

A elaboração da base cartográfica georreferenciada do município de Araxá foi realizada a partir da delimitação do limite do município utilizando-se para tanto as folhas topográficas na escala 1:100.000, editadas pelo IBGE, recorrendo sempre que necessário ao mapa do Estado de Minas Gerais na escala de 1:500.000, para esclarecer quaisquer duvidas quanto aos limites exatos do município.

Antes de iniciar o processo de digitalização, definiu-se a escala de apresentação dos mapas temáticos, o sistema de projeção cartográfica e o sistema de coordenadas a ser adotado. A digitalização é o processo de conversão de dados analógicos em digitais. Esta etapa foi realizada utilizando-se uma mesa digitalizadora A1 e o software Catalinx. Os temas digitalizados foram: limite do município, drenagem principal, sede do município e curvas de nível.

O modelo digital de elevação (MDE), as análises de correlação e regressão dos dados de temperatura, bem como a reclassificação dos dados, para a produção dos mapas temáticos com a distribuição da temperatura, foram realizadas utilizando-se o software IDRISI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar é variável, no tempo e no espaço. Pode ser regulada por vários fatores, que são os controles da temperatura: radiação, advecção de massas de ar, aquecimento diferencial da terra e da água, correntes oceânicas, altitude, posição geográfica.

Os fatores que influem no balanço local de radiação e conseqüentemente na temperatura local do ar incluem: (a) latitude, hora do dia e dia do ano, que determinam a altura do sol e a intensidade e duração da radiação solar incidente; (b) cobertura de nuvens, pois ela afeta o fluxo tanto da radiação solar como da radiação terrestre e (c) a natureza da superfície, pois esta determina o albedo e a percentagem da radiação solar absorvida usada para aquecimento por calor sensível e aquecimento por calor latente. Em conseqüência destes fatores, a temperatura do ar é usualmente maior nos trópicos e menor em latitudes médias, maior em janeiro que em julho (no Hemisfério Sul), durante o dia que à noite, sob céu claro do que nublado (durante o dia) e quando o solo está seco ao invés de úmido.

O ciclo anual de temperatura reflete claramente a variação da radiação solar incidente ao longo do ano. Por isso, na faixa entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, as temperaturas médias variam pouco durante o ano, enquanto em latitudes médias e altas grandes contrastes de temperatura entre inverno e verão são observados. Em latitudes médias e altas a variação da temperatura média mensal está atrasada em aproximadamente um mês em relação à variação da insolação, o que reforça o fato de que a radiação solar não é o único fator que determina a temperatura. Em cidades costeiras, com maior influência marítima, essa defasagem é um pouco maior e a amplitude da variação anual da temperatura é reduzida.

O ciclo diurno da temperatura reflete a variação da radiação ao longo do dia. Tipicamente, a menor temperatura ocorre próximo ao nascer do sol, como resultado de uma noite de resfriamento radiativo da superfície da Terra. A temperatura mais alta ocorre usualmente no começo ou meio da tarde, enquanto o pico de radiação ocorre ao meio dia.

A defasagem entre temperatura e radiação resulta principalmente do processo de aquecimento da atmosfera. O ar absorve pouca radiação solar, sendo aquecido principalmente por energia provinda da superfície da Terra. A taxa com a qual a terra fornece energia à atmosfera, contudo, não está em balanço com a taxa com a qual a atmosfera irradia calor. Geralmente, durante umas poucas horas após o período de máxima radiação solar, o calor fornecido pela Terra à atmosfera é maior que o emitido pela atmosfera para o espaço. Em conseqüência, geralmente a temperatura do ar é máxima a tarde.

A amplitude do ciclo diurno pode ser afetada por vários fatores: (a) amplitude de variação da altura do sol durante o dia, que é maior em latitudes baixas que em altas; (b) a nebulosidade diminui a amplitude da variação porque durante o dia as nuvens bloqueiam a radiação solar, reduzindo o aquecimento e à noite as nuvens retardam a perda de radiação pela superfície e o ar e re-irradiam calor para a Terra; (c) localidades costeiras podem ter menores variações de temperatura durante o dia.

A advecção de massas de ar se refere ao movimento de uma massa de ar de uma localidade para outra. A advecção de ar frio ocorre quando o vento sopra através das isotermas de uma área mais fria para outra mais quente, enquanto na advecção de ar quente o vento sopra através das isotermas de uma região mais quente para uma mais fria. Isotermas são linhas traçadas sobre um mapa, que unem pontos com mesma temperatura do ar. A advecção de massa de ar ocorre quando uma massa de ar substitui outra com diferentes características de temperatura. A advecção de massas de ar pode compensar ou mesmo sobrepor-se à influência da radiação sobre a temperatura podendo, por exemplo, causar a queda da temperatura num início de tarde, apesar do céu claro.

O aquecimento da superfície da Terra controla o aquecimento do ar sobrejacente. Portanto, para entender variações nas temperaturas do ar, deve-se examinar as propriedades das várias superfícies, que refletem e absorvem energia solar em quantidades diferentes. O maior contraste é observado entre terra e água. A terra aquece mais rapidamente que a água e também resfria mais rapidamente. Variações nas temperaturas do ar são, portanto, muito maiores sobre a terra que sobre a água.

Outro fator importante nas diferenças de temperatura é a altitude. A diminuição vertical média da temperatura na troposfera é de 6.5 ^{o}C por Km. Além de influir sobre a temperatura média a altitude também influi sobre a amplitude do ciclo diurno. Como a densidade do ar também diminui com a altitude, o ar absorve e reflete uma porção menor de radiação solar incidente. Conseqüentemente, com o aumento da altitude a intensidade da insolação também cresce, resultando num rápido e intenso aquecimento durante o dia. À noite, o resfriamento é também mais rápido.

Portanto, como podemos concluir que a altitude exerce importante papel na variação da temperatura. E neste trabalho procuramos avaliar a variação da temperatura do ar em função da variação da altitude, para o município de Araxá - MG. O município caracteriza-se por estar assentado sobre relevo com significativas variações de altitude (820 a 1.360 m), e esperamos que tais variações de altitudes influenciam proporcionalmente em variações na temperatura.

Para a realização dessas análises (altitude x temperatura), foram calculadas as médias das temperaturas por estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) e correlacionadas com a altitude de cada estação meteorológica. A partir da análise de correlação e coeficiente de determinação, foi encontrada a equação da reta que melhor representa a relação entre a altitude (variável independente) e a temperatura (variável dependente). A equação encontrada aplicada sobre o modelo digital de elevação do município (MDE), permitiu a elaboração dos mapas com a distribuição da temperatura segundo as estações do ano.

Como resultado, foram elaborados um mapa com a distribuição das altitudes no município (hipsométrico), e cinco mapas com a distribuição da temperatura, um para cada estação (verão, outono, inverno e primavera) e um com a média anual das temperaturas.

A hipsometria preocupa-se em estudar as interrelações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante à sua distribuição em relação às cotas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base.

Devido à ausência de uma convenção internacional para a construção de mapas hipsométricos, procedeu-se a uma análise da topografia da sub-bacia, conseguindo-se estabelecer as seguintes classes altimétricas para o município: menor 800 a 900, 900 a 1.000, 1.000 a 1.100, 1.100 a 1.200 e, 1.200 a 1.400 metros de altitude (Quadro 1 e Figura 1).

Quadro 1 - Área ocupada pelas diferentes categorias altimétricas

Categorias (m)	Área (Km^2)	Área (%)
800 - 900	**89,19**	**6,95**
900 – 1.000	**536,68**	**41,83**
1.000 – 1.100	**355,31**	**27,69**
1.100 – 1.200	**246,22**	**19,19**
1.200 – 1.400	**55,60**	**4,33**
Total	**1.283,00**	**100,00**

Os dados climáticos para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidos junto ao Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. O laboratório mantém uma coleção de dados obtidos pelos diferentes postos meteorológicos da região. Alguns dados foram obtidos de postos localizados dentro do município de Araxá, outros de postos localizados em municípios situados ao redor ou próximos de Araxá (Quadro 2).

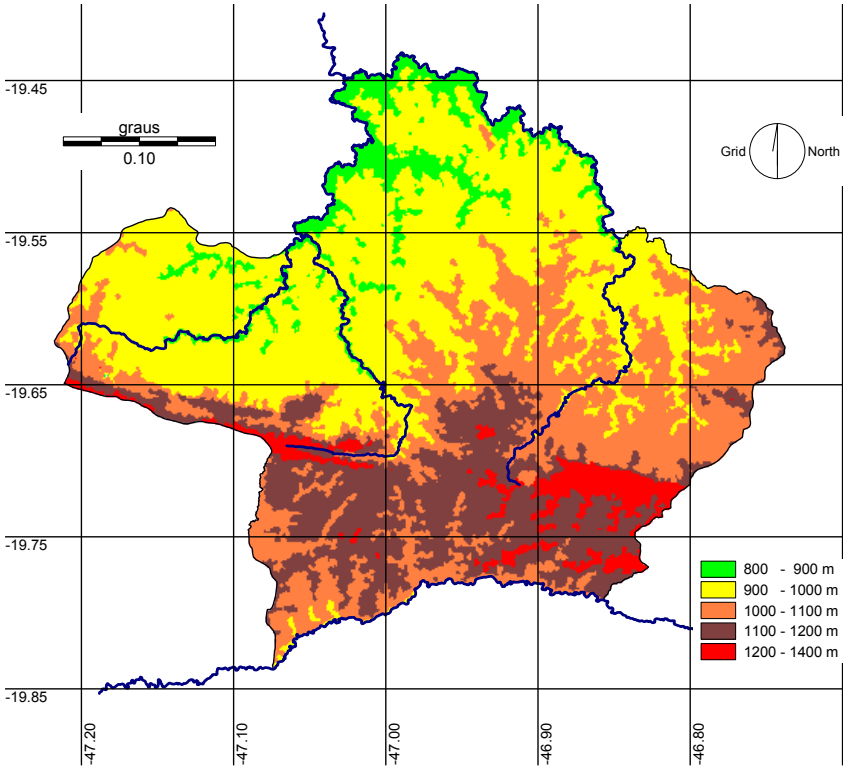


Figura 1 – Distribuição das Altitudes em Araxá - Hipsometria

Quadro 2 - Coordenadas geográficas e altitudes de postos meteorológicos localizados dentro ao redor do município

ID	Postos	Long (W)	Lat (S)	Alt (m)
1	Araxá	46,90	19,60	1.004
2	Carmo do Paranaíba	46,26	19,00	1.100
3	Irai de Minas	47,46	18,96	810
4	Patrocínio	46,98	18,95	966
5	Tapira	46,83	19,83	1.200
6	Uberaba	47,98	19,75	790

O clima de Araxá, confunde-se com o clima do Centro-Oeste e grande parte do sudeste do Brasil: estação seca (de maio a setembro) e estação chuvosa (outubro a abril), característica

essa associada a sazonalidade térmica, ou seja, estação chuvosa quente e estação seca amena.

O clima regional é modificado por feições de meso-escala, particularmente pelo relevo, que cria condições para variações locais nas quantidades de chuva e, mais acentuadamente, nos indicadores térmicos. A temperatura do ar expressa a medida, em graus Celsius, da quantidade de calor existente no ar próximo da superfície do solo (Quadro 3 e 4). A compartimentação do relevo da região, influência diretamente no comportamento espacial da temperatura do ar.

Quadro 3 - Temperatura média, para os meses do ano (médias de pelo menos 10 anos)

Postos	Tjan	Tfev	Tmar	Tabr	Tmai	Tjun	Tjul	Tago	Tset	Tout	Tnov	Tdez	Tanual
Araxá	22.1	22.5	22.1	21.5	19.8	18.1	17.8	19.6	21.0	21.8	22.0	21.4	20.8
Carmo do Paranaíba	22.5	23.1	22.2	22.7	20.0	18.6	18.7	20.1	21.4	22.5	22.4	22.2	21.3
Irai de Minas	23.3	23.9	23.0	22.3	19.4	18.9	18.8	20.4	21.9	22.9	21.9	22.7	21.6
Patrocínio	22.8	23.3	23.1	22.3	20.5	19.2	19.2	20.5	21.9	22.8	22.5	22.3	21.7
Tapira	21.9	21.4	22.7	20.1	17.5	17.1	17.3	18.2	19.4	21.5	19.9	21.1	19.8
Uberaba	23.5	23.3	23.2	22.4	20.1	19.2	18.9	21.3	23.1	23.4	23.6	23.3	22.1

Quadro 4 - Temperatura média, para as estações do ano (médias de pelo menos 10 anos)

Postos	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Média
Araxá	22.23	19.80	19.47	21.73	20.8
Carmo do Paranaíba	22.60	20.43	20.07	22.37	21.3
Irai de Minas	23.40	20.20	20.37	22.50	21.6
Patrocínio	23.07	20.67	20.53	22.53	21.7
Tapira	22.00	18.23	18.30	20.83	19.8
Uberaba	23.33	20.57	21.10	23.43	22.1

O comportamento do clima ao longo do ano depende da dinâmica dos sistemas de circulação atmosférica que atuam nos diferentes períodos do ano. A variação da temperatura da região pode ser correlacionada com as variações da altitude. O coeficiente de correlação pode variar de -1,0 (relação fortemente negativa) para 0 (nenhuma relação) até +1,0 (relação fortemente positiva). A medida em que aumentamos a altitude, diminuímos a temperatura. Isto pode ser comprovado com os dados do Quadro 5. Neste quadro é apresentado uma equação de regressão do tipo Y = a + b X, onde através da mesma conseguimos estimar a temperatura para qualquer localidade, para a estação desejada, sabendo-se a altitude da mesma. É apresentado também o coeficiente de correlação (r), o coeficiente de determinação e o erro provável na estimativa, usando-se a equação proposta. Na equação Y = a temperatura para a localidade desejada e X = a altitude da localidade.

Quadro 5 - Equação de regressão para as diferentes estações do ano

Estações	Equação de Regressão	(r)	CD (%)	Erro (%)
Verão	Y = 25,9713 - 0,0033 X	-0,89572	80,23	19,77
Outono	Y= 23,7462 - 0,0038 X	-0,67532	45,61	54,39
Inverno	Y = 24,9801 - 0,0051 X	-0,83758	70,15	29,85
Primavera	Y = 26,6554 - 0,0045 X	-0,82814	68,58	31,42
Média	Y = 25,4132 - 0,0043 X	-0,84049	70,64	29,36

Como pode ser observado, pela análise do Quadro 5 e nos Anexos, verificamos que no verão, inverno e primavera a temperatura é mais dependente das variações altitudinais (coeficientes de determinação de 80.23, 70.15, e 68.58, respectivamente), ou seja, no caso do verão, podemos afirmar que a variação topográfica explica 80.23 % da variação da temperatura, com um erro de estimativa, da ordem de 19.77 %. Já no outono a variação da temperatura é menos dependente da altitude. Apenas 45.61 % da variação da temperatura pode ser explicada pela variação da altitude.

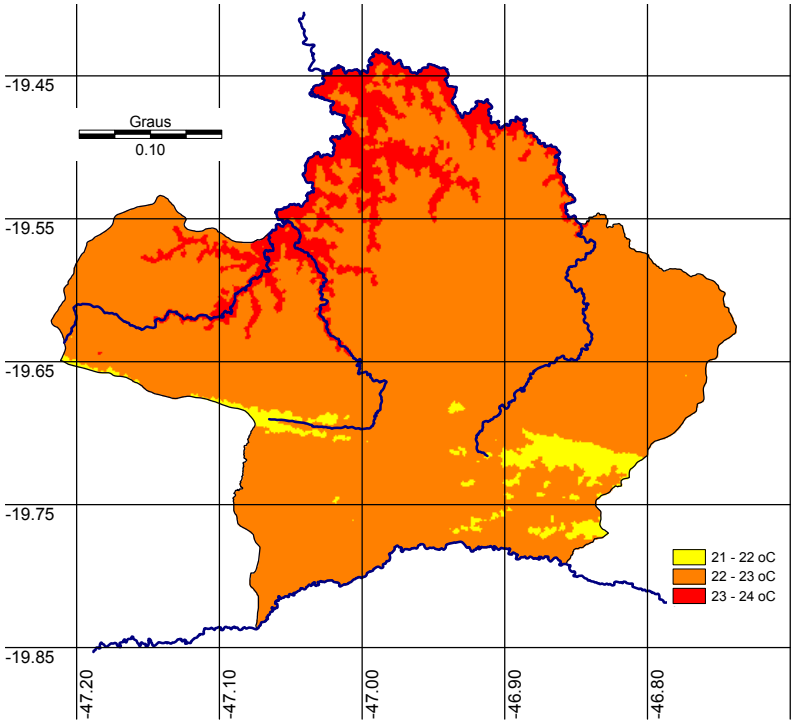


Figura 2 – Distribuição da Temperatura em Araxá – MG, no Verão

Como podemos observar nas figuras 2 a 6, são apresentados os resultados da distribuição da temperatura para o município de Araxá – MG, segundo as estações do ano, bem como a média anual, gerados a partir do modelo digital de elevação e equações de regressão, conforme Quadro 5.

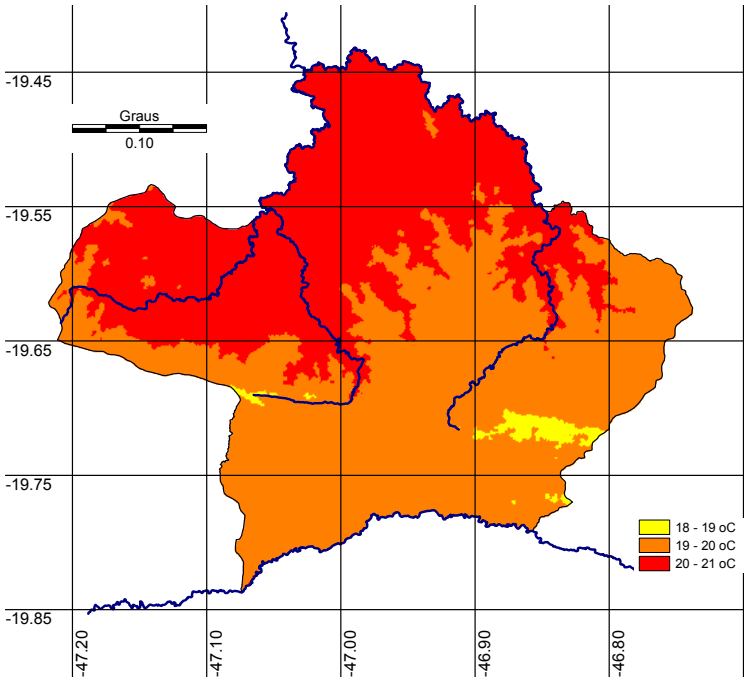


Figura 3 – Distribuição da Temperatura em Araxá – MG, no Outono

A partir da análise destas figuras, podemos observar que, no verão a temperatura varia de 21 a 24 °C, sendo que 86 % da área do município possui temperatura entre 22 e 23 °C. No outuno, a temperatura varia de 18 a 21 °C, no entanto 55 % da área do município possui

temperatura entre 19 e 20 oC. No inverno, a temperatura também varia de 18 a 21 °C, no entanto 52 % da área possui temperatura entre 19 e 20 °C. Na primavera, a temperatura varia entre 20 e 23 °C, sendo que 60% da área do município está compreendido neste intervalo de temperaturas.

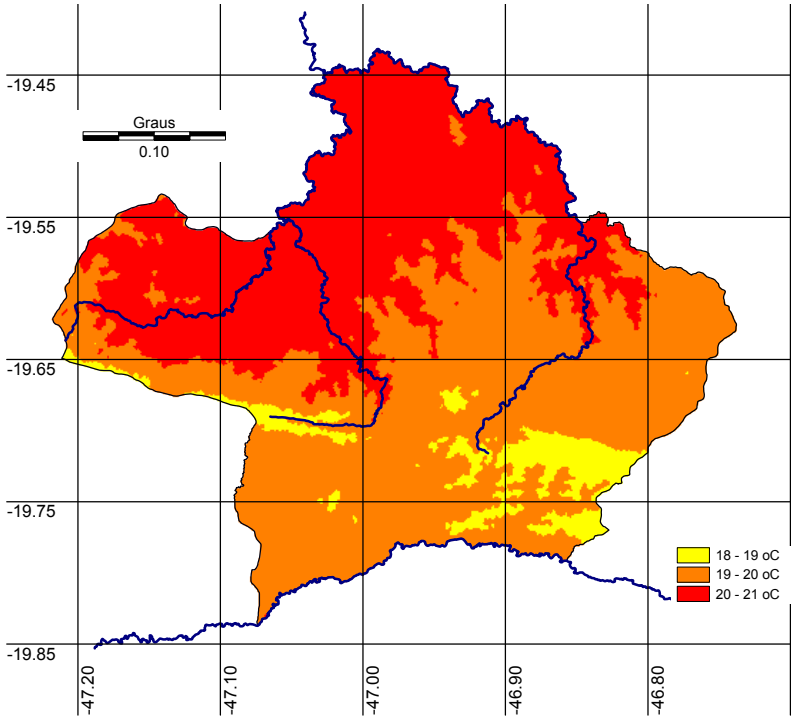


Figura 4 – Distribuição da Temperatura em Araxá – MG, no Inverno

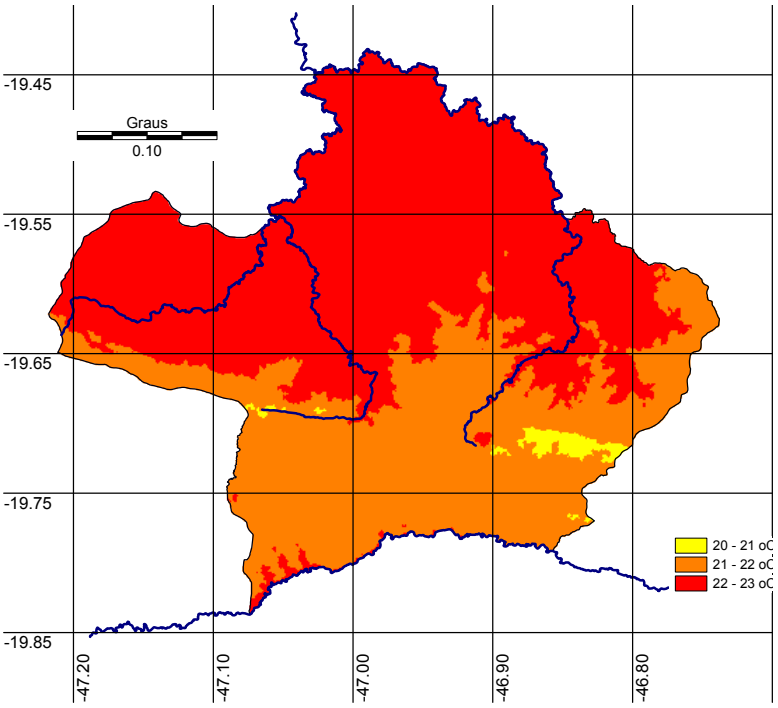


Figura 5 – Distribuição da Temperatura em Araxá – MG, na Primavera

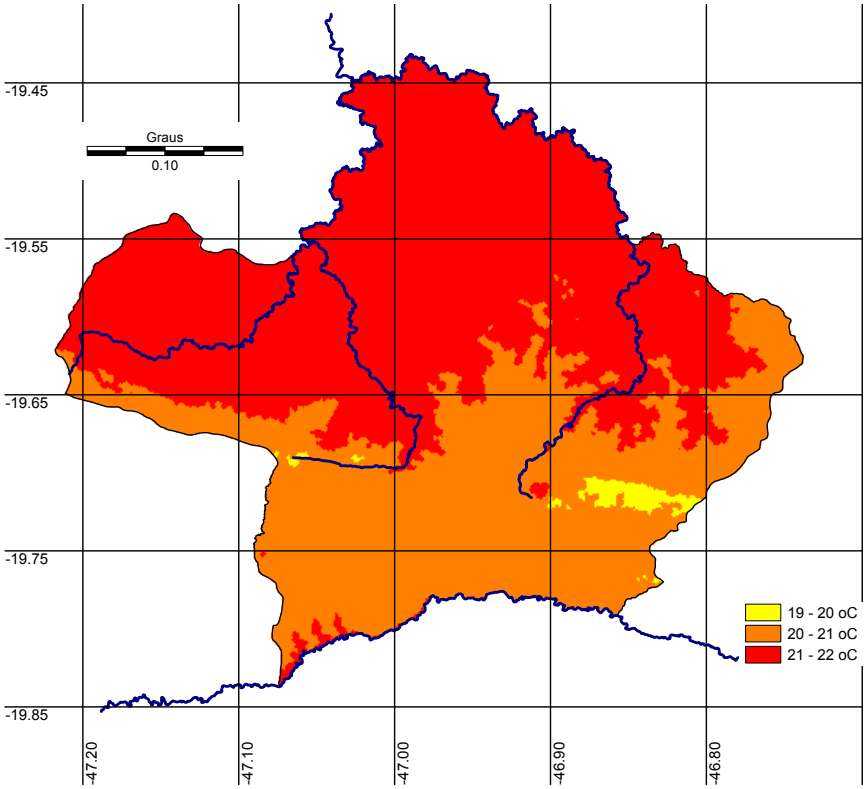


Figura 6 – Distribuição da Temperatura em Araxá – MG, Média Anual

Como médias anuais, o município de Araxá possui uma variação de temperatura de 19 a 22 ^{o}C, sendo que 59 % da área do município possui temperatura entre 21 e 22 ^{o}C. Em todas as estações do ano, a porção norte do município é a que apresenta as maiores temperaturas, em função de apresentar as menores altitudes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da equação de regressão, entre temperatura e altitude, foram gerados os dados de distribuição da temperatura por estação, em função da altitude, utilizando-se o software IDRISI. A partir da análise do coeficiente de correlação e determinação, podemos observar que a temperatura possui uma forte dependência da altitude, especialmente nas estações do verão, inverno e primavera, no entanto, no outono esta dependência é fraca.

Araxá possui altitudes que variam de 820 a 1360 metros, influenciando significativamente na temperatura do município. Ocorre uma variação de temperatura de 17.8 ^{o}C (julho) a 22.5 ^{o}C (fevereiro), tendo como média anual 20.8 ^{o}C.

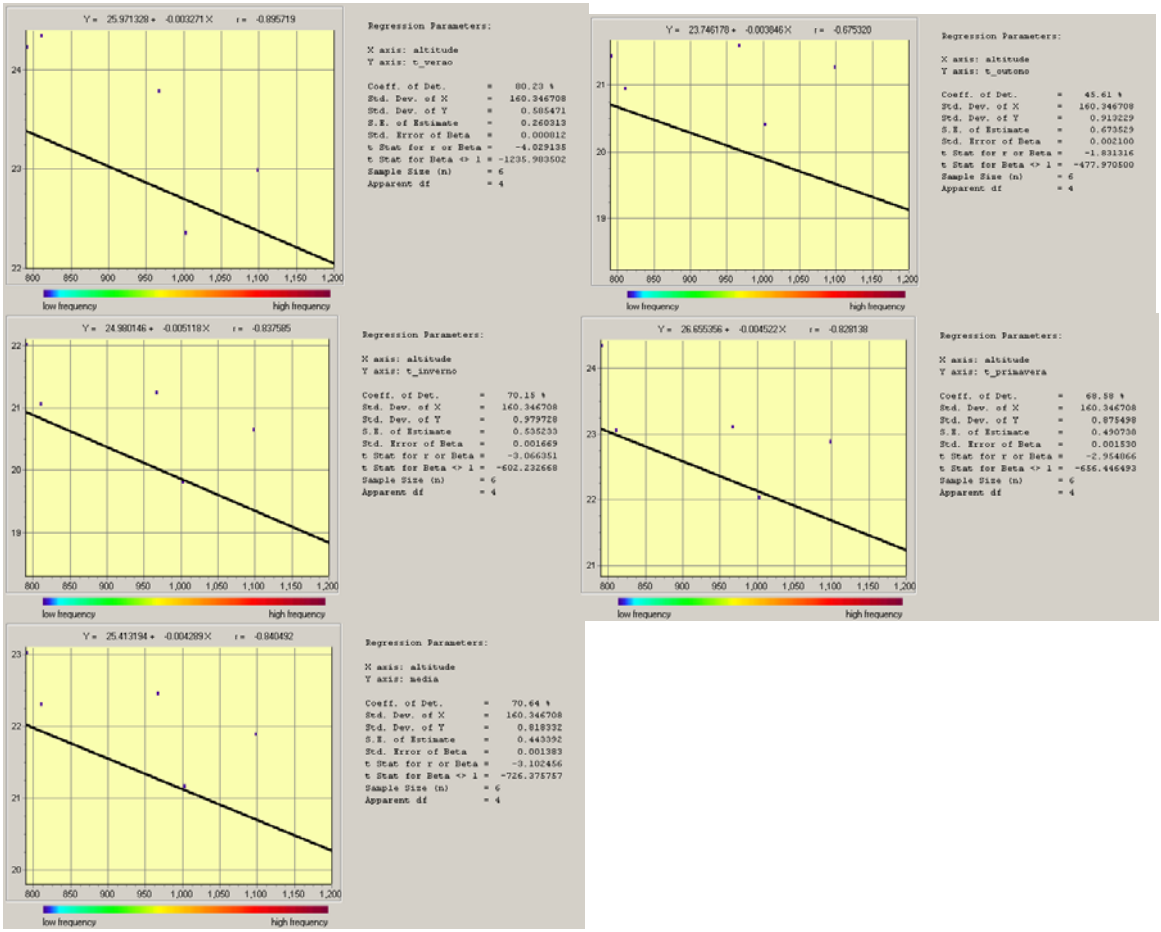
O software IDRISI possui recursos que possibilitam uma boa análise estatística dos dados, bem como recursos para espacialização dos mesmos, como pôde ser observado nos mapas apresentados. Os resultados encontrados permitiram concluir que a metodologia utilizada fornece bons resultados na espacialização de dados climáticos.

Referencias Bibliográficas

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. Embrapa, 2ª ed., Brasília, 1998.

HASENACK, H.; WEBER, E. Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios e Tutoriais. UFRGS – Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, 1998.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica. Ed. do Autor, Uberlândia, 1996.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. INMET, Gráfica e Editora Pax, Brasília, 2001.

ANEXOS